



8-2-01
04100
#2
PRIORITY
10-3-01
JSS

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

APPLICANT: DONG-IL CHO)
SERIAL NO.: 09/903,280)
FILED: 07/11/01)
FOR: SURFACE/BULK MICROMACHINED)
SINGLE-CRYSTALLINE SILICON)
MICRO-GYROSCOPE)
GROUP ART UNIT: UNKNOWN)
EXAMINER: UNKNOWN)

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Director for Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Korean Patent Application No. 2000-40121
for which the above-identified patent application claims priority from.


If, for any reason, this priority document is not acceptable, please inform the
undersigned as soon as possible.

Respectfully Submitted

HEAD, JOHNSON & KACHIGIAN

Date: 08/01/01

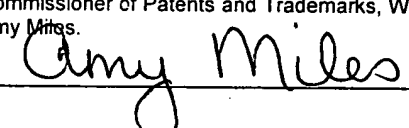
Customer No. 24,118


Mark G. Kachigian, Reg. No. 32,840
228 West 17th Place
Tulsa, Oklahoma 74119
(918) 584-4187
Attorney for Applicant

"EXPRESS MAIL" Mailing Label No. EL779650931US

Date of Deposit: August 1, 2001

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to the Commissioner of Patents and Trademarks, Washington D.C. 20231 by Amy Miles.





대한민국 특허청
KOREAN INTELLECTUAL
PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원 번호 : 특허출원 2000년 제 40121 호
Application Number PATENT-2000-0040121

출원 년 월 일 : 2000년 07월 13일
Date of Application JUL 13, 2000

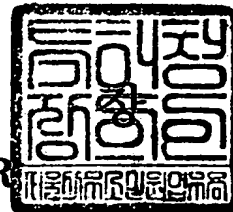
출원인 : 조동일
Applicant(s) CHO, Dong Il



2001 년 07 월 09 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2000.07.13
【발명의 명칭】	단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속 도계
【발명의 영문명칭】	Micro Gyroscope Fabricated by Single-crystalline Silicon Micromachining Technology
【출원인】	
【성명】	조동일
【출원인코드】	4-1998-036348-7
【대리인】	
【성명】	김영철
【대리인코드】	9-1998-000040-3
【포괄위임등록번호】	1999-000985-9
【대리인】	
【성명】	김순영
【대리인코드】	9-1998-000131-1
【포괄위임등록번호】	1999-000983-4
【발명자】	
【성명】	조동일
【출원인코드】	4-1998-036348-7
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정 에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 김영철 (인) 대리인 김순영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	32 면 32,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	12 항 493,000 원
【합계】	554,000 원
【감면사유】	개인 (70%감면)
【감면후 수수료】	166,200 원

1020000040121

2001/7/1

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계에 관한 것으로서, 미세 각속도계 구조 중 절연할 구조물 전체를 스텝 커버리지가 좋은 공정으로 절연막을 형성하고, 스텝 커버리지가 좋은 전도막을 이용하여 상기 절연막 위로 전체적으로 전도막을 형성하고, 스텝 커버리지가 좋지 않은 금속을 이용하여 상기 전도막 위의 일부분에 형성되는 금속막으로 구성된, 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하되, 상기 삼중막 중 전도막을 부분적으로 식각하여 분리시킴에 의하여 미세 각속도계의 구조물 간의 전기적인 절연을 구현하는 것임을 특징으로 한다.

본 발명에 의한 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계는, SBM 공정과 산화막/다결정 실리콘막/금속막의 절연 공정을 도입하여 미세 구조물 사이의 간격이 좁고 중횡비가 큰 경우에도 적용될 수 있는 절연 방법을 사용하여, 구조물의 정전 용량을 증가시켜서, 결과적으로 해상도가 높은 장점이 있다. 또한 미세 구조물 제작 후, 절연 공정에서 구조물의 옆면에 증착 또는 성장되는 다결정 실리콘막과 산화막의 두께를 조절하여 수평 방향으로 움직이는 스프링의 폭을 조절할 수 있으며, 이러한 스프링의 폭의 조절을 통하여 스프링 상수와 구조물의 공진 주파수를 공정 단계에서 조절가능하다. 이와 같이, 공정 과정 중간에서 정전 용량이나 기계적 특성을 조절할 수 있는 것은, 제품 양산 공정에서의 수율 증가에 큰 이점이 된다. 또한, 본 발명에 의한 미세 각속도계는, 스프링의 중간이 구멍을 만들어서 실리콘 딥 에칭 단계에서 발생하는 언더컷 현상이 스프링의 양 끝단 뿐만 아니라, 중간에 형성된 구멍에서도 발생하게 하여 스프링 부유를 위한 습식 식각 공정에 걸리는 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

1020000040121

2001/7/1

【대표도】

도 8

【명세서】**【발명의 명칭】**

단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계{Micro Gyroscope
Fabricated by Single-crystalline Silicon Micromachining Technology}

【도면의 간단한 설명】

도1은 종래 기술로서, 스크림(SCREAM) 절연 방법의 공정도,

도2는 종래 기술로서, SOI 웨이퍼를 사용하는 방법의 공정도,

도3은 종래 기술로서 접합 절연 방법으로 구현된 콤-드라이브(comb-drive) 구조의
마이크로머시닝 시스템의 SEM 사진,

도4는 종래 기술로서 트렌치 산화물 분리 방법을 설명하는 모식도,

도5는 종래 기술로서, 깊은 트렌치 절연막을 이용하는 방법의 공정도,

도6은 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 도포한 후 절연을 위한 금속막의 식각 공
정이 수행되는 경우를 설명하는 도면,

도7a는 도5에 도시된 방법에 의하여 절연된 마이크로 구조의 트렌치 상단의 SEM 사
진, 도7b는 같은 트렌치의 하단의 SEM 사진,

도8은 본 발명에 의한 미세 각속도계에서의 단결정실리콘/산화막/다결정 실리콘의
복합 빔의 구조도,

도9는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 모식도,

도10은 본 발명에 의한 미세 각속도계에서 식각 시간을 줄이기 위한 스프링 구조,

도11은 다양한 길이의 스프링에 대하여 연쇄 스프링의 스프링 상수에 관한 시뮬레이션 결과를 도시한 것,

도12는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 SEM 사진들,

도13은 본 발명에 의한 미세 각속도계로서 패키지화된 상태를 보여주는 도면,

도14는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 성능을 시험하기 위한 실험 장치,

도15a는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 캐패시터 성분들을 보여주며, 도15b는 이러한 캐패시터 성분들을 고려한 변위 감지 등가 회로도,

도16은 본 발명에 의한 미세 각속도계에 $10^\circ/\text{sec}$, 11Hz 각속도가 인가되는 경우 스펙트럼 분석기의 결과를 도시한 것,

도17은 본 발명에 의한 미세 각속도계의 주파수 반응,

도18은 본 발명에 의한 미세 각속도계의 구동 및 감지 모드 주파수 차이에 따른 대역폭을 도시한 것,

도19는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 각속도에 따른 출력 결과.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<20> 본 발명은 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계에 관한 것이다.

<21> 마이크로머시닝 기법은 실리콘 공정을 이용하여 시스템의 특정 부위를 마이

크로미터 단위의 정교한 형상으로 실리콘 기판 상에 집적, 형성하는 것이며, 이는 박막(thin film) 증착, 식각(etching) 기술, 사진묘화(photolithography) 기술, 불순물 확산 및 주입 기술 등 반도체 소자 제조 기술을 기초로 한다.

<22> 마이크로머시닝 기법으로 제조되는 대표적인 시스템으로는, 이동 물체의 가속도를 감지하는 실리콘 가속도계, 회전 물체의 회전 속도를 감지하는 각속도계 등이 있다. 특히, 마이크로머시닝 기법으로 제작되는 각속도계는 저렴한 가격으로 인해 자동차 안전 및 안정도 제어 시스템, 비디오 카메라 안정도 및 컴퓨터 등에서 3차원 입력 장치에 적용될 수 있어 관심이 고조되고 있으나, 만족할만한 성능의 마이크로머시닝 기법으로 제조된 각속도계는 미흡한 실정이다.

<23> 일반적으로 각속도계는 진동하는 물체에 각속도가 인가될 때 발생하는 코리올리스 힘을 이용하여 각속도를 추정하는 원리를 이용한다. 각속도계의 기본 구조는, 바깥쪽의 구동용 질량체와 안쪽의 검지용 질량체의 두 개의 질량체로 이루어져 있고, 이들 질량체가 각각 서로 수직 방향의 스프링에 의하여 지지되어 있다.

<24> 마이크로머시닝 기법으로 제작되는 각속도계는 단결정 실리콘의 미세 구조물의 형상 뿐만 아니라, 미세 구조물의 각 부분을 구동하고 측정하기 위한 전극 연결과 미세 구조물의 각 부분을 절연시키는 것이 매우 중요하다.

<25> 특히, 각속도계의 경우 구동용 스프링과 검지용 스프링과 관성 질량이 각각 분리되어 제작되는 방식(decoupled type)이 각속도계의 감도 향상 등 성능면에서 유리한데, 이와 같은 구조의 각속도계에서 구동용 스프링과 검지용 스프링을 전기적으로 분리시키기 위한 절연 방법이 매우 중요하고, 각 구조물의 두께 및 간격을 조절하여 미세 구조물의 정전 용량과 스프링 강성을 공정 단계에서 조절할 수 있으면 더욱 바람직하다.

- <26> 먼저, 미세 각속도계에 관한 종래 기술들에 관하여 소개한다.
- <27> 1991년 찰스 스타크 드래퍼(Charles Stark Draper) 실험실에서 p++ 식각 중단 기술을 이용한 실리콘 각속도계로서 1Hz의 대역폭에 4°/sec의 해상도를 가지는 실리콘 각속도계가 처음으로 개발되었다[P.Greiff, B. Boxenhorn, T. King, and L. Niles, 'Silicon monolithic micromechanical gyroscope,' in Tech. Dig. 6th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '91), San Francisco, CA, June 1991, pp.966-968.].
- <28> 1996년 버클리대에서는 단일 다이상에 트랜스레지스터스 증폭기가 구성된 표면 마이크로머시닝 공정 다결정 실리콘 각속도계를 보고하였다. 이 장치는 아날로그 장치 BiMEMS 공정에 의하여 제조되었고, 1Hz의 대역폭에 1°/sec의 해상도를 가진다[W. A. Clark, R. T. Howe, and R. Horowitz, 'Surface micromachined z-axis vibratory rate gyroscope,' in Tech. Dig. Solid-State Sensor & Actuator Workshop, Hilton Head Island, SC, June 1996, pp.299-302.].
- <29> 최근에는 미세 구조물의 두께를 증가시켜서 각속도계의 해상도를 높이기 위하여, 단결정 실리콘을 이용하여 종횡비(aspect ratio)가 높은 구조물을 제작하는 것에 관심이 고조되고 있다. 종횡비가 높은 구조물에 의하여 큰 정전 용량을 얻을 수 있고, 이로부터 고감도의 감지가 가능하게 된다.
- <30> 1997년에 HSG-IMT의 연구원들은 에피택셜 성장 다결정 실리콘을 구조물 물질로 사용하여, 10 μ m 두께의 x-축 각속도계를 발표하였다. 이 각속도계는 50Hz의 대역폭에 0.096°/sec의 해상도를 가진다[W. Geiger, B. Folkmer, J. Merz, H. Sandmaier, and W. Lang,

'A new silicon rate gyroscope.' in Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS'98), Heidelberg, Germany, Feb. 1998, pp.615-620.].

<31> 삼성전자 연구원들은, 1997년에 25Hz의 대역폭에 $0.015^{\circ}/\text{sec}$ 의 해상도를 가지는, SOI 공정을 이용한 각속도계를 발표하였고[K. Y. Park, H. S. Jeong, S. An, S. H. Shin, and C. W. Lee, 'Lateral gyroscope suspended by two gimbals through high aspect ratio ICP etching,' in Tech. Dig. 10th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'99), Sendai, Japan, June 1999, pp.972-975.], 1999년에 양극 결합 웨이퍼를 이용한 다른 각속도계를 발표하였는데, 이는 5Hz의 각속도 입력에 $0.01^{\circ}/\text{sec}$ 의 해상도를 보였다.

<32> 상기한 종래 기술들 중에서, 에피택셜 성장 다결정 실리콘을 미세 구조 물질로서 사용하는 방법은, 표면 미세 가공 방법에서와 같이 나중에 습식 식각으로 제거되는 희생층 위에 구조물로 이용되는 에피-다결정 실리콘 층을 증착시키는 방법이다. 이 방법은 고온에서 수행되고 고가의 장비를 필요로 하는 에피층 성장 공정이 요구되며, 에피-다결정 실리콘 층의 잔류 응력이나 응력 구배를 조절하여야 하는 단점이 있다. 또한 구조물을 각속도계의 형상으로 가지도록 식각하는 과정에서 푸팅(footing) 현상이 나타나는 문제가 있다. 푸팅 현상은 딥 실리콘 에칭 공정의 식각 종말점 부근에서 산화막 층에서의 이온 축적에 의하여 구조물의 바닥면이 불균일하게 식각되는 현상을 말한다. 이러한 푸팅 현상은 스프링의 강성 등 기계적 성질을 변질시키고 생산 공정에서의 수율을 심각하게 저하시키는 문제점이 된다.

<33> 또한, 상기한 종래 기술들 중에서 SOI 공정 방법은, SOI 기판을 재료로 사용하는 방법으로서, 구조물 층 아래에 매몰된 산화막 층이 구조물의 부유를 위한 희생층과 전기

적인 절연을 위한 절연막으로 이용된다. 이 방법에서는 미리 제작된 SOI 기판의 산화막 층의 두께에 의하여 희생층의 두께가 제한되므로, 구조물의 두께나 희생층의 두께를 공정 단계에서 변경할 수 없고, SOI 기판이 매우 고가인 단점이 있다. 또한, 에피택셜 성장 다결정 실리콘 방법에서와 같이, 푸팅 현상의 영향을 받으며 미세 구조물이 SOI 기판의 제작 공정 중 접합 공정에서 발생된 잔류 응력의 영향을 받을 수 있는 단점이 있다.

<34> 이러한 단점을 해결하기 위하여, 푸팅 현상이 없는, 단결정 실리콘을 구조물의 재료로 사용하는 SBM(Surface/Bulk Micromachining) 기법이 개발되었다.

<35> 본 발명은 이와 같은 SBM 기법에 의하여 제작된 미세 각속도계에 관한 것으로서, 특히 미세 각속도계에서 전기적인 절연이 필요한 각 부분(예를 들어서, 구동용 스프링, 감지용 스프링 등)의 전기적인 절연을 위하여 새로운 절연 방법을 도입하여, 종래 기술에 의한 미세 각속도계에 비하여 해상도가 향상된 미세 각속도계를 제공하고자 한다.

<36> 도면을 참조하면서, 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작되는 미세 각속도계에 적용될 수 있는 종래 기술에 의한 절연 방법들을 소개한다.

<37> 도1은 종래 기술로서, 스크림(SCREAM) 절연 방법의 공정도이다. 스크림(Single Crystal Reactive Etching and Metalization, SCREAM) 절연 방법은, 마이크로머시닝 기법으로 구조물을 제작한 후 플라즈마 증강 화학 증착(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, 이하에서 'PECVD'라 함) 산화물을 이용하여 구조물의 표면을 절연한 후, 금속을 증착하여 전극을 형성하는 방법이다. 이 방법에서 전극간의 절연은 금속의 스텝 커버리지(step coverage)가 좋지 않은 것을 이용하여 구현한다. 공정이 비교적 간단하고, 별도의 사진/식각 공정이 없이 절연이 가능하나, 금속의 스텝 커버리지의 문제로 인하여 종횡비가 높은 구조물에 적용이 어렵다.

- <38> 도2는 종래 기술로서, SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼를 사용하는 방법의 공정도이다. 이 방법은 웨이퍼의 중간에 형성된 유전체를 사용하므로 절연이 자동적으로 이루어진다. 그러나, SOI 웨이퍼가 고가이고, 유전체에 의한 잔류 응력 문제, Bosch 공정을 이용하는 딥 에처(deep etcher)의 풋팅(footing) 현상 및 희생층의 두께와 구조층의 두께가 고정되는 문제 등이 있다.
- <39> 도3은 종래 기술로서 접합 절연 방법으로 구현된 콤-드라이브(comb-drive) 구조의 마이크로머시닝 시스템의 SEM 사진이다. 접합 절연 방법에서는 n-타입 또는 p-타입 웨이퍼에 접합 다이오드를 형성한 후, 역방향 전압을 인가하여 기판과 전극을 절연시키는 방법이다. 도2의 경우를 예를 들어서 설명하면, 도2에서, p-타입 실리콘 기판상에 밝은 부분으로 나타난 부분을 인으로 도핑하여 전극을 형성하면, 실리콘 기판(p-타입)과 전극(n-타입) 사이에 pn 접합이 생기게 된다. 여기에 역방향(reverse biased) 전압을 인가하면 실리콘 기판과 전극이 전기적으로 분리된다. 이 방법에서는 구조물을 제작하기 이전에 절연 공정을 수행할 수 있기 때문에 구조물 제작이 용이한 반면에, 접합의 깊이를 깊게 할 수 없으므로, 두께가 두꺼운 구조물의 제작이 불가능한 단점이 있다.
- <40> 도4는 종래 기술로서 트렌치 산화물 분리 방법을 설명하는 모식도이다. 트렌치 산화물 분리 방법은, 실리콘 구조물 U자 모양의 트렌치를 형성하고, 트렌치가 형성된 구조물의 측면에 산화막을 증착하여, 트렌치를 산화물로 채워서 산화물에 의하여 전극으로 사용되는 구조물을 지지하면서 전극 구조물을 기판과 전기적으로 절연시키는 방법이다. 이와 같은 트렌치 산화물 분리 방법은 상기한 종래 기술들에 비하여 중형비가 높은 두꺼운 구조물에도 적용이 가능한 장점이 있으나, 전극의 금속막을 형성하기 위한 별도의 사진/식각 공정이 필요하고, 절연을 위하여, 전극 부분을 실리콘 기판과 분리하여 띄우는

부유 공정과, 구조물 부분에 대한 부유 공정의 두 번의 부유 공정이 필요하다.

<41> 또한, 전극 구조물을 지지하기 위하여 전극의 측면에 증착된 절연막을 이용하기 때문에 절연막이 지지되기 위해서 전극과 기판 사이에 절연막이 끼어있는 형태로 제작되어야 하고, 따라서 제조할 수 있는 구조가 제한되며, 특히 'island' 형태의 전극을 제작하는 것이 어렵다. 따라서, 예를 들어서, 각속도계와 같이 전극의 배치가 복잡한 구조물을 제작하기에 어려운 단점이 있었다.

<42> 도5는 종래 기술로서, 깊은 트렌치 절연막을 이용하는 방법의 공정도이다. 깊은 트렌치 절연막을 이용하는 방법은, 단결정 실리콘 기판에서 전극이 형성된 전극부의 중간 위치에, 형성될 전극의 두께보다 더 깊은 트렌치를 형성하고, 형성된 트렌치를 절연막으로 채운 다음, 구조물과 전극부가 단결정 실리콘 기판으로부터 부유되어 분리되도록 하되, 상기 깊은 트렌치를 채운 절연막은 단결정 실리콘 기판에 고정된 상태에서 전극부의 중앙을 지지하도록 한다. 이러한 깊은 트렌치 절연막을 이용하는 방법에 의하면, 깊은 트렌치를 채우는 절연막이, 단결정 실리콘의 기판에 박힌 상태에서 전극의 중앙을 관통하여 전극을 지지하게 되므로, 결과적으로 전극의 측면에는 절연막이 형성되지 않고, 단결정 실리콘 기판으로부터 이격된 'island' 형태의 전극을 형성할 수 있다.

<43> 깊은 트렌치 절연막을 이용하는 방법은, 단일의 부유 공정에 의하여 형성된 구조물과 전극 표면에 금속막을 증착시키므로 금속막 증착을 위한 별도의 사진/식각 공정이 필요하지 않은 장점이 있으나, 종횡비(aspect ratio)가 큰 즉, 길이가 긴 미세 구조물에 적용하기 곤란한 단점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<44> 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은, 단결정 실리콘을 미세 구조물 물질로 이용하되, 미세 구조물 중 전기적으로 절연되어야 할 각 부분에 대하여, 절연을 위한 별도의 사진/식각 공정이 필요하지 않을 뿐만 아니라, 절연되어야 할 미세 구조물 사이의 간격이 좁고 종횡비가 큰 경우에도 적용될 수 있는 절연 방법을 사용하여, 구조물의 정전 용량을 증가시켜서, 결과적으로 해상도가 높은 미세 각속도계를 제공하는 것이다.

<45> 본 발명은 또한, 미세 각속도계의 구동부와 검지부가 서로 90°각도를 이루도록 배치되는 경우, SBM 공정 기술을 이용하여 각속도계를 제작하는 경우, 검지부의 스프링 또는 구동부의 스프링의 식각 속도를 향상시키기 위한 신규한 스프링 구조를 가지는 미세 각속도계를 제공하는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

<46> 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 의한 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계는, 미세 각속도계 구조 중 절연할 구조물 전체를 스텝 커버리지가 좋은 공정으로 절연막을 형성하고, 스텝 커버리지가 좋은 전도막을 이용하여 상기 절연막 위로 전체적으로 전도막을 형성하고, 스텝 커버리지가 좋지 않은 금속을 이용하여 상기 전도막 위의 일부분에 형성되는 금속막으로 구성된, 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하되, 상기 삼중막 중 전도막을 부분적으로 식각하여 분리시킴에 의하여 미세 각속도계의 구조물간의 전기적인 절연을 구현하는 것임을 특징으로 한다.

- <47> 또한, 상기절연막과 전도막이 도포되는 두께를 조절함에 의하여 움직이는 스프링의 폭을 조절하여 스프링 상수 및 공진 주파수를 조절할 수 있다.
- <48> 본 발명에 의한 미세 각속도계는, 구동용 스프링과 검지용 스프링과 관성 질량이 각각 분리되어 제작되는 타입(decoupled type)이고, 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하여 구동용 스프링과 검지용 스프링이 전기적으로 절연되며, 상기 구동용 스프링과 검지용 스프링이 서로 직각이 되도록 배치될 수 있다.
- <49> 또한, 본 발명에 의한 미세 각속도계에서, 스프링은, 그 중앙에 구멍이 형성된 노드를 포함하여, 구조물의 부유를 위한 습식 식각 공정 시간을 단축하도록 한다. 이 경우, 노드 중앙에 형성된 구멍의 열린 폭은 스프링의 두께보다 큰 것이 바람직하다.
- <50> 이하에서 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 의한 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계를 상세하게 설명한다.
- <51> 본 발명에 의한 미세 각속도계는, 내부 구조간의 절연을 위하여, 단결정 실리콘 미세 구조물에 도포되는 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하고, 삼중막 중, 전도막이 식각되어 전도막 사이가 분리되는 것에 의하여 전기적인 절연이 달성된다.
- <52> 이때, 전도막의 식각 공정은 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 도포한 후, 즉, 금속막이 도포된 상태에서 수행되거나, 절연막/전도막이 도포된 상태에서, 즉 금속막이 도포되지 않은 상태에서 수행되는 두 가지 경우가 있다. 후자의 경우 전도막의 식각 공정 후, 금속막을 도포하여 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 구성한다.
- <53> 아래에서 설명하는 실시예에서는 절연막으로 열산화막을, 전도막으로 높게 도핑된 다결정 실리콘 박막을, 금속막으로 알루미늄막을 사용하는 경우이다. 높게 도핑된 다결

정 실리콘은 간격이 좁은 트렌치에서도 우수한 스텝 커버리지를 가지므로, 단결정 실리콘 미세 구조물의 전체에 걸쳐서 도포될 수 있으므로, 본 발명에 의한 삼중막을 이용하는 단결정 실리콘 미세 구조물의 절연 방법에서의 전도막으로서 사용되기에 적합하다.

<54> 도6은 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 도포한 후 절연을 위한 금속막의 식각 공정이 수행되는 경우를 설명한다.

<55> 도6a와 같은 단결정 실리콘 미세 구조물은 제작하고자 하는 미세 각속도계의 규격에 맞추어서 일반적인 SBM 기법을 이용하여 제작된다. 구체적으로 설명하면, 에칭 마스크 패터닝 공정→실리콘 덩 에칭 공정→측면 패시베이션 공정→구조물 분리를 위한 염기성 수용액에서의 습식 식각 공정에 의하여 제작된다.

<56> 도6a와 같은 단결정 실리콘 미세 구조물의 절연 방법은 다음과 같다.

<57> 먼저, 단결정 실리콘 미세 구조물의 전체 모든 면에 도6b와 같이 열산화막을 도포한다. 이와 같이 도포된 열산화막은, 궁극적으로는, 전도막과 단결정 실리콘 서브스트레이트를 전기적으로 절연시키는 역할을 한다.

<58> 그런 다음, 높게 도핑된 다결정 실리콘 박막을 저압화학기상증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition, 이하에서 'LPCVD'라 함) 방식으로 상기 산화막 위로 전체적으로 고르게 도포한다(도6c). LPCVD 다결정 실리콘 박막은 스텝 커버리지가 매우 좋으므로, 간격이 좁은 깊은 트렌치 구조에서도 전체적으로 고르게 도포된다. 특히, 트렌치의 옆벽에 증착된 다결정 실리콘 박막은, 궁극적으로 각 트렌치를 전극으로 사용될 수 있도록 한다.

<59> 이와 같이 산화막 위에 LPCVD 다결정 실리콘 박막을 전체적으로 증착시킨 후, 전극

의 접점을 위한 금속막 도포를 위하여 스퍼터링 방식이나 증착 방식으로 알루미늄 막을 도포한다(도6d). 금속막의 경우, 스텝 커버리지가 좋지 않은 특성이 있으며, 이 공정에서는 이러한 특성을 이용하여 도6d에서 보이는 바와 같이, 트렌치의 상부와 옆벽의 일부 분에만 금속막을 도포하여, 각 트렌치의 전기적인 절연을 방해하지 않게 된다.

<60> 그런 다음, 증착된 다결정 실리콘 박막을 비등방 건식 식각하여 바닥면에 증착된 다결정 실리콘 중 일부를 제거하여 전극간에 절연을 달성한다(도6e).

<61> 절연막(산화막)/전도막(다결정 실리콘)/금속막(알루미늄)의 삼중막을 형성한 후, 전도막을 비등방성 건식 식각하므로, 도6e에서 보이는 바와 같이 트렌치의 상부의 다결정 실리콘 박막이 남아서, 금속막/전도막/절연막의 삼중막이 남게 된다.

<62> 도7a는 도6에 도시된 방법에 의하여 절연된 마이크로 구조의 트렌치 상단의 SEM 사진, 도7b는 같은 트렌치의 하단의 SEM 사진이다. 도7은, 트렌치의 깊이는 $40\mu\text{m}$ 이고, 트렌치 간격은 $8\mu\text{m}$ 인 경우이고, 도포된 삼중막인 산화막/다결정 실리콘막/알루미늄막의 두께는 각각 $0.12\mu\text{m}$, $0.18\mu\text{m}$ 및 $0.35\mu\text{m}$ 인 경우이다.

<63> 도7a로부터, 트렌치의 상단에는 바깥쪽으로부터 알루미늄막/다결정 실리콘막/산화막이 도포되고, 트렌치의 상단으로부터 몇 μm 떨어진 위치부터 아래로 트렌치의 측면에는 알루미늄막이 도포되지 않은 것을 관찰할 수 있다. 도7b로부터, 트렌치의 하단에는 다결정 실리콘막/산화막이 고르게 도포되어 있는 것을 관찰 할 수 있다.

<64> 도6에 도시된 단결정 실리콘의 미세 구조물의 절연 방법은, 구동용 스프링과 검지용 스프링이 각각 분리되어 제작되는 방식(decoupled type)의 본 발명에 의한 각속도계에서 구동용 스프링과 검지용 스프링을 전기적으로 분리시키기 위한 절연 방법으로 사용

된다.

<65> 이 경우, 단결정 실리콘 미세 구조물의 제작 후, 절연 단계에서 절연성 박막과 전도성 박막을 도포하게 되므로, 미세 구조물에서 형성된 간격보다 더 작은 간격의 구조물을 형성할 수 있을 뿐만 아니라, 절연성 박막과 전도성 박막의 도포되는 두께를 조절할 수 있으므로 구동 빔 또는 감지 빔으로 사용되는 경우 움직이는 스프링의 폭을 조절하여 스프링 상수와 구조물의 공진 주파수를 조절할 수 있는 효과가 있다. 또한, 단결정 실리콘 미세 구조물을 제작하는 과정 중 실리콘 딥 에칭 단계에서 발생하는 언더컷 현상은 빔의 스프링 상수를 변경시키게 된다. 도6에 도시된 절연 방법에 의하면 산화막과 다결정 실리콘 막이 언더컷 현상을 보충하게 된다.

<66> 도8은 본 발명에 의한 미세 각속도계에서의 단결정실리콘/산화막/다결정 실리콘의 복합 빔의 구조도이다. 금속막의 경우 스프링 상수를 크게 변경하지 않기 때문에, 도8에 도시된 복합 빔 구조도에서 상단의 금속막은 생략되어 있다. 도8에 도시된 복합 빔 구조에서 공진 주파수는 다음의 수학식 1과 같이 결정된다.

<67> 【수학식 1】

$$\begin{aligned} EI_{total} &= E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 \\ &= E_1 \frac{ht_1^3}{12} + E_2 \left(\frac{ht_2^3}{48} + \frac{ht_2(2t_1+t_2)^2}{16} \right) \\ &\quad + E_3 \left(\frac{ht_3^3}{48} + \frac{ht_3(2t_1+2t_2+t_3)^2}{16} \right) \end{aligned}$$

<68> 상기 수학식 1에서 E_1 , E_2 , E_3 는 각각 단결정 실리콘, 산화막, 다결정 실리콘막의 영의 계수(Young's modulus)이고, I_1 , I_2 , I_3 는 각각 단결정 실리콘, 산화막, 다결정 실리콘막의 관성 질량이다. E_1 은 168.9 GPa이고, 영의 계수가 (111) 면에서 횡측으로 등방성이다. 또한, 영의 계수는 (100) 또는 (110) 면에 따라서 변한다. E_2

와 E_3 문헌으로 알려져 있으므로, 상기 수학식 1로부터, 산화막 두께 t_2 , 다결정 실리콘 막 두께 t_3 을 조절함으로써 원하는 구조적인 강성 및 공진 주파수 또는 정전 용량을 얻을 수 있다.

<69> 도9는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 모식도이다. 본 발명에 의한 미세 각속도계는 구동 모드와 감지 모드가 분리된 타입이다.

<70> 외부 질량체와 내부 질량체가 구동 모드 공진 주파수로 x-방향으로 함께 구동된다. z-방향으로 각속도가 인가되면, 구동 방향(x-방향) 및 인가된 각속도 방향(z-방향)에 양 방향에 수직인 방향(y-방향)으로 코리올리스 힘을 받게되어, 내부 질량체가 y-방향으로 움직인다. 즉 도8에 도시된 미세 각속도계는 z-방향으로 인가된 각속도를 측정할 수 있다.

<71> 도9에 도시된 미세 각속도계는, 구동을 위한 콤(comb) 전극과 구동 검지를 위한 콤(comb) 전극, 코리올리스 힘에 의하여 발생하는 내부 질량체 변위를 측정하기 위한 깎지긴 콤(interdigitated comb) 검지 전극으로 구성되어 있다. 구동 전극이나 검지 전극, 구동 검지 전극은 모두 서로 마주보는 두 종류의 전극으로 구성되어 있어 차등 구동이나 차등 검지가 가능하다. 또한 검지 전극에 DC 바이어스를 가함으로써 전기적으로 스프링의 강성을 조절할 수도 있다.

<72> 도9에 도시된 미세 각속도계는, 구동 모드 공진 주파수를 4.58 kHz로, 검지 모드 공진 주파수를 5.76 kHz가 되도록 설계된다. 이를 위하여, 상기 수학식 1에서, 실리콘 두께는 2500 Å, 산화막 두께는 1200 Å 및 다결정 실리콘 두께는 1800 Å

정도로 한다. 감지 모드의 공진 주파수가 구동 모드보다 약 1200 Hz 정도 높게 설정되는 데, 그 이유는 감지 모드의 공진 주파수가 정전기적인 튜닝에 의하여 용이하게 낮추어질 수 있기 때문이다.

<73> 구동부와 감지부가 분리된 각속도계를 제작하기 위하여, 구동부의 스프링과 감지부의 스프링이 서로 90°각도를 이루도록 배치되어야 한다. 따라서, SBM 공정 기술을 이용하여 각속도계를 제작하는 경우, 감지부의 스프링이 구조물의 부유를 의한 실리콘 습식 식각이 가장 빨리 일어나는 방향으로 설계되면 구동부 스프링은 식각 속도가 가장 느린 방향이 된다.

<74> 예를 들어서, (111) 실리콘 웨이퍼에서, 하나의 스프링이 웨이퍼 표면에 평행하게, 즉 <110> 방향으로 배치되면, 다른 스프링은 <111> 방향으로 배치된다. SBM 공정에서, 구조물을 부유시키기 위한 수용성 알칼리 용액의 습식 식각 공정이 스프링의 양 끝에서 발생하고 이 습식 식각 공정은 스프링이 <111> 방향으로 배치되는 경우 길이 방향으로 전파된다. 이러한 경우, 습식 식각이 측면 방향으로 발생하지 않으므로 양 스프링을 부유시키는데 식각 시간이 불필요하게 길게 걸린다.

<75> 본 발명에서는 <111> 방향으로 배치된 스프링들의 식각 시간을 줄이기 위하여, 새로운 구조의 스프링을 제안한다. 도10은 본 발명에 의한 미세 각속도계에서 식각 시간을 줄이기 위한 스프링 구조이다. 도10에 도시된 바와 같이, 각 스프링은 스프링의 중앙에 노드를 가진다. 이러한 노드는 그 중앙에 구멍을 가지며, 따라서 습식 식각이 스프링의 양 끝 뿐만 아니라, 스프링의 중앙에서도 발생한다. 적절한

부유를 위하여, 노드내의 구멍의 열린 폭이 스프링 두께보다 커야한다. 이와 같은 스프링 유닛을 연속적으로 사슬처럼 연결하여 제조함으로써 임의의 강성값을 가지는 스프링이 제조될 수 있다. 도10에서는 네모 모양의 노드가 도시되어 있지만, 원형, 육각형 또는 다른 모양의 노드가 또한 사용될 수 있다.

<76> 이러한 연쇄된 스프링의 스프링 상수는 ANSYS를 이용하여 계산된다. 도11은 다양한 길이의 스프링에 대하여 연쇄 스프링의 스프링 상수에 관한 시뮬레이션 결과를 도시한 것이다. 도11에 도시된 시뮬레이션에서 도6에 도시된 유닛 스프링이 가정되었고, 스프링 넓이는 $4\mu\text{m}$, 두께는 $40\mu\text{m}$, 각 경우에 있어서, 매 $72\mu\text{m}$ 마다의 연쇄 연결을 가정한다. 스프링 넓이, 두께가 동일한 경우, 연쇄 스프링의 스프링 상수는 단순한 스프링보다 약간 크며, 도11의 결과를 이용하여 알맞게 설계할 수 있다.

<77> 아래에서는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 제조 방법을 상세하게 설명한다.

<78> 본 발명에 의한 미세 각속도계는 SBM 공정과 산화막/다결정 실리콘막/금속막의 삼중막 절연 방식에 의하여 제조된다. 본 발명의 일실시예에 따라서 제조된 미세 각속도계의 구조물의 두께는 $40\mu\text{m}$, 희생층 갭은 $50\mu\text{m}$ 으로 한다. 칩 크기는 $2.2\text{mm} \times 8\text{mm}$ 이다. 본 발명에 의한 미세 각속도계를 제조하기 위하여, 단 한번의 마스크 공정만이 필요로 한다. 희생층의 두께를 $50\mu\text{m}$ 로 크게 하는 것은 에어 댐핑을 줄이고 따라서 Q-팩터를 증가시키는 측면에서 유리한 것이다.

<79> 본 발명에 의한 미세 각속도계의 제조를 위하여, $10\text{m}\Omega$ 비저항을 가지는 n-타입, (111) 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하여, PECVD 산화막을 증착하고 패터닝한다. 증착된 산화막은 딥 실리콘 에칭 공정에서 마스크로서 사용된다.

- <80> 그런 다음, 수직 방향으로 $40\mu\text{m}$ 깊이로 딥 실리콘 반응성 이온 에칭을 수행하여 구조물의 패턴을 정한다. 첫 번째 산화막은, 구조 패터닝과 희생층 깎을 결정하는, 수직 딥 실리콘 반응성 이온 에칭과 구조물의 부유를 위한 염기성 에칭을 견딜 수 있을 정도로 충분히 두꺼워야 한다.
- <81> 표준적인 Bosch 공정에서, 에칭 깊이는 오프닝 너비에 따라 결정되며, 따라서 균일한 에칭 깊이를 얻기 위하여 모든 오프닝 너비를 동일하게 설계하는 것이 중요하다.
- <82> 본 발명에 의한 미세 각속도계에서는, 최소 오프닝 너비를 $2\mu\text{m}$, 최대 오프닝 너비를 $15\mu\text{m}$ 로 하였다. 최대 오프닝 너비는 구조를 공진시키기 위하여 필요로 하는 크기이다. 너비가 작은 오프닝들에서의 에칭 깊이는 최종 구조물의 두께가 된다.
- <83> 미세 구조물의 패턴을 완성한 다음, 1200\AA 두께의 열산화막을 성장시키는데, 이 열산화막은 염기성 에칭에서 구조물의 측면을 보호하기 위하여 사용된다. 그런 다음, 반응성 이온 에칭을 이용하여 산화막을 비등방성 에칭시켜서 에칭된 패턴의 바닥에 실리콘이 드러나도록 한다. 이 과정에서 측면의 산화막은 식각되지 않아야 하고, 패턴의 상부의 실리콘은 드러나지 않아야 한다. 그런 다음, 실리콘 웨이퍼를 딥 실리콘 반응성 이온 에칭을 이용하여 수직으로 다시 에칭한다. 작은 오프닝에서의 첫 번째 식각 깊이로부터 측정된, 큰 오프닝에서의 식각 깊이는 $50\mu\text{m}$ 이다. 이것으로부터 희생층의 깎이 $50\mu\text{m}$ 가 된다.
- <84> 그런 다음, 웨이퍼를, 20%, 90°C 테트라메틸암모늄하이드록사이드(TMAH) 용액에 15분동안 담겨서 구조물을 부유시킨다. 이 과정에서 산화막에 의하여 보호되지 않은 측면의 하부들은 측면 방향으로 식각되고, 이러한 조건에서 <110> 방향으로의 식각 속도는 약 $95\mu\text{m}/\text{h}$ 이다. 부유 식각 후, 모든 측면 보호 산화막과 상단의 산화막이 HF 용액에서

제거된다.

<85> 이상과 같이, 미세 구조물을 완성한 다음, 미세 구조물 부분에 대한 절연 공정을 수행한다. 본 발명에 의한 미세 각속도계는 산화막/다결정 실리콘막/금속막의 삼중막을 이용한 절연 방법을 도입한다.

<86> 이를 위하여, 먼저, 미세 구조물 전체적으로 모든 면에 1200Å 두께의 열산화막을 성장시킨 후, 1800Å의 두께로 LPCVD 다결정 실리콘 막을 증착시킨다. 증착 온도는 585℃이다. 다결정 실리콘막을 도핑하기 위하여, 대기압, 900℃에서 10분간, N₂ 2000 sccm, N₂ 함유 POCl₃ 400 sccm 및 O₂ 200 sccm을 가지고, 산소 함유 인의 프리-도핑을 수행한다. 그런 다음, 1% 실리콘 함유 알루미늄이 미세 구조물의 상단에 스퍼터링된다. 마지막으로 전기적인 절연을 위하여 다결정 실리콘막의 일부를 에칭시켜서 제거하는데, 이때에 알루미늄막이 마스크로서 작용하고, 궁극적으로 전극으로서 작용한다.

<87> 도12는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 SEM 사진들로서, 도12a는 전체적인 형상을 보여주고, 도12b는 연쇄된 스프링들을 보여주고, 도12c, 도12d 및 도12e는, 코리올리스 힘을 감지하기 위한 콦 구조들, 질량체를 구동하기 위한 콘 구조들 및 구동 모션을 감지하기 위하여 콦 구조들을 각각 보여준다. 도13은, 본 발명에 의한 미세 각속도계로서 패키징화된 상태를 보여준다.

<88> 아래에서는 상기한 바와 같은 방식으로 제작된 본 발명에 의한 미세 각속도계의 성능 시험을 상세하게 설명한다.

<89> 도14는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 성능을 시험하기 위한 실험 장치이다. 각

속도계를 진동시키기 위하여, 0.8볼트 오프셋을 가지는 2.5볼트 피크-투-피크 정현파 전압이 제1 구동콤포전극에 인가된다. 제1 구동콤포전극의 반대편에 위치한 제2 구동콤포전극에 동일한 오프셋을 가지고 위상이 반대인 정현파를 인가한다. 이와 같은 반-위상 구동은 전기적인 노이즈를 줄일 수 있다. 코리올리스 힘에 의하여 야기되는 변위를 감지하기 위하여, 검지 전극들은 두 전하 증폭기들의 부(-) 입력에 연결된다. 이동 구조물과 서브스트레이트는 접지된다.

<90> 튜닝 전압(V_T)이 전하 증폭기들의 정(+) 입력단들에 인가되는데, 이 튜닝 전압은 감지 모드의 공진 주파수를 제어하는데 사용된다. V_T 의 DC 전압이 전하 증폭기의 출력에 나타나고, 이 DC 전압을 제거하기 위하여, 고대역통과필터가 사용된다. 고대역통과필터들의 두 출력 신호의 차이로부터 변조된 출력 전압이 얻어진다. 변조된 출력 전압을 복조함에 의하여 최종적으로 각속도가 얻어진다.

<91> 도15a는 본 발명에 의한 미세 각속도계의 캐패시터 성분들을 보여주며, 도15b는 이러한 캐패시터 성분들을 고려한 변위 감지 등가 회로도이다. 도15a에서, $C_{p,SS}$ 는 고정된 두 검지 전극간의 정전용량이고, 미세 구조물의 두께가 $40\mu m$ 인 경우 $14.17fF$ 이다. $C_{p,S}$ 는 서브스트레이트와 검지 전극간의 정전용량인데, 산화막의 두께가 $0.12\mu m$ 인 경우 $41fF$ 이다. $C_{p,M}$ 은 서브스트레이트와 이동 구조물간의 정전 용량인데, 산화막의 두께가 $0.12\mu m$ 인 경우 $107.5pF$ 인데, 서브스트레이트와 이동 구조물이 접지되어 있으므로, 도12b에서 보이는 등가 회로도에서 $C_{p,M}$ 은 나타나지 않는다. 또한, $C_{p,SS}$ 역시 나타나지 않는데, 그 이유는 $C_{p,SS}$ 의 두 말단들이 전하 증폭기들의 부(-) 입력단에 연결되어 있고, 가상 접지 효과에 의하여 V_T 의 일정한 전압이 유지되기 때문이다. $C_{p,S}$ 는 전하 증폭기들의 출력에 영향을 미치는데, $C_{p,S}$ 가 변하지 않으므로, 그 효과는 무시할만하다. $C_{p,S}$ 를 일정하게 유

지하기 위하여, 높게 도핑된 실리콘 웨이퍼가 사용되고, 따라서 서브스트레이트의 표면은 항상 축적 상태에 있다.

<92> 미세 각속도계의 해상도를 높이기 위하여, 감지 모드와 구동 모드간의 공진 주파수 차이를 작게 하는 것이 필요하다. 전형적으로, 주파수 차이는 10Hz 오더 정도가 좋다. 본 발명에 의한 미세 각속도계에서 구동 모드의 주파수는 4.61kHz인데, 이는 분석 결과인, 4.58kHz에 비하여 약간 큰 것이다.

<93> 감지 모드 공진 주파수는 튜닝 전압 V_T 를 변경함으로써 조절될 수 있다. V_T 가 2.5 볼트인 경우, 공진 주파수는 5.73kHz이고, V_T 가 5.65볼트인 경우, 공진 주파수는 4.60kHz인데, 이것은 구동 모드와 거의 동일한 것이다. V_T 가 '0'인 경우 감지 모드의 공진 주파수는 5.80kHz인데, 이것 역시 분석 결과인 5.76kHz에 비하여 약간 큰 값이다.

<94> 본 발명에 의하여 제조된 미세 각속도계가 속도 테이블에 설치된 10 mTorr 진공 챔버내에서 시험되었다. 도14에 도시된 감지 회로의 출력이 스펙트럼 분석기에 연결된다. 감지 모드 공진 주파수는 구동 모드보다 11 Hz 높다.

<95> 도16은 본 발명에 의한 미세 각속도계에 $10^\circ/\text{sec}$, 11Hz 각속도가 인가되는 경우 스펙트럼 분석기의 결과를 도시한 것이다. 도16에서 가장 진폭이 큰 피크는 구동 신호인데, 이것은 결합 와이어들 간의 기생 캐패시터 성분 때문이다. 다음으로 큰 피크는 11 Hz 각속도 입력에 대한 것이다. 도16에서 속도 입력 신호가 구동 신호로부터 11 Hz 떨어져 있음을 관찰할 수 있다. 세 번째이자 마지막 피크는 구동 신호로부터 22 Hz 떨어져 있다. 이 피크는 원심력때문인데, 입력 각속도의 두 배이다. 첫 번째와 세 번째 피크들은 변조 회로에 의하여 용이하게 제거되고, 도16에서, 각속도 입력의 진폭은, 노

이즈에 비하여 1000배 이상이므로, $0.01^\circ/\text{sec}$ 의 노이즈 상용 해상도를 가진다.

<96> 해상도와 함께, 미세 각속도계의 중요한 성능 중 또 다른 하나는 대역폭이다. 대역폭은 자체 파라미터들에 의하여 유일하게 결정되는 것이 아니다. 대역폭은 주파수 미스매치 및 주변 진공 레벨에 따라서 달라진다. 도17은 본 발명에 의한 미세 각속도계의 주파수 반응이다. 측정된 대역폭은 16.2Hz이다. Q-팩터를 1000으로 가정한 경우의 주파수 반응이 또한 도시되어 있다. 도18은 구동 및 감지 모드 주파수 차이에 따른 대역폭을 도시한 것이다. 도18에 도시된 바와 같이, 주파수 차이가 클수록, 대역폭이 증가하지만 해상도를 감소한다. 도19는 각속도에 따른 출력 결과이다. 각속도의 주파수는 11Hz로 고정하고 각속도의 크기는 $0.5^\circ/\text{sec}$ 부터 $20^\circ/\text{sec}$ 의 범위일 때에, 출력 전압은 $\pm 20^\circ/\text{sec}$ 의 범위에서 2% 범위내로 선형인 것임을 관찰할 수 있다.

【발명의 효과】

<97> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의한 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계는, SBM 공정과 산화막/다결정 실리콘막/금속막의 절연 공정을 도입하여 미세 구조물 사이의 간격이 좁고 중형비가 큰 경우에도 적용될 수 있는 절연 방법을 사용하여, 구조물의 정전 용량을 증가시켜서, 결과적으로 해상도가 높은 장점이 있다. 또한 미세 구조물 제작 후, 절연 공정에서 구조물의 옆면에 증착 또는 성장되는 다결정 실리콘막과 산화막의 두께를 조절하여 수평 방향으로 움직이는 스프링의 폭을 조절할 수 있으며, 이러한 스프링의 폭의 조절을 통하여 스프링 상수와 구조물의 공진 주파수를 공정 단계에서 조절가능하다. 이와 같이, 공정 과정 중간에서 정전 용량이나 기계적 특성을 조절할 수 있는 것은, 제품 양산 공정에서의 수율 증가에 큰 이점이 된다. 또한, 본 발명에 의한 미세 각속도계는, 스프링의 중간이 구멍을 만들어서 실리콘 덩어리

칭 단계에서 발생하는 언더컷 현상이 스프링의 양 끝단 뿐만 아니라, 중간에 형성된 구멍에서도 발생하게 하여 스프링 부유를 위한 습식 식각 공정에 걸리는 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

미세 각속도계 구조 중 절연할 구조물 전체에 절연막을 형성하고, 상기 절연막 위로 전체적으로 전도막을 형성하고, 금속을 이용하여 상기 전도막 위의 일부분에 형성되는 금속막으로 구성된, 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하되, 상기 삼중막 중 전도막을 부분적으로 식각하여 분리시킴에 의하여 미세 각속도계의 구조물간의 전기적인 절연을 구현하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 절연막과 전도막이 도포되는 두께를 조절함에 의하여 움직이는 스프링의 폭을 조절하여 스프링 상수 및 공진 주파수를 조절하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 미세 각속도계는, 구동용 스프링과 검지용 스프링 및 관성 질량이 각각 분리되어 제작되는 타입(decoupled type)이고, 절연막/전도막/금속막의 삼중막을 이용하여 구동용 전극과 검지용 전극이 전기적으로 절연되는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 4】

제3항에 있어서,

상기 구동용 스프링과 검지용 스프링이 서로 직각이 되도록 배치되는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 가속도계.

【청구항 5】

제4항에 있어서,

상기 스프링은, 그 중앙에 구멍이 형성된 노드를 포함하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 가속도계.

【청구항 6】

제5항에 있어서,

상기 노드 중앙에 형성된 구멍의 열린 폭은 스프링의 두께보다 큰 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 가속도계.

【청구항 7】

제3항에 있어서,

상기 구동용 스프링의 전극 및 검지용 스프링의 전극은, 정전 용량을 높이기 위하여, 수직 방향의 깊이가 $10\mu\text{m}$ 이상인 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 가속도계.

【청구항 8】

제7항에 있어서,

Q-팩터를 높이기 위하여, 희생층의 두께를 $10\mu\text{m}$ 이상으로 하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 9】

제3항에 있어서,

상기 검지용 스프링 또는 구동용 스프링에 DC 바이어스(튜닝 전압, V_T)를 가함으로써 전기적으로 스프링의 강성을 조절하여, 감지 모드와 구동 모드간의 공진 주파수 차이를 작게 하여 감도를 높이는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 10】

제9항에 있어서,

상기 튜닝 전압은 검지용 스프링에 인가되는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 11】

제10항에 있어서,

상기 미세 각속도계의 이동 구조물과 서브스트레이트는 접지되고, 검지 전극들은 두 전하 증폭기들의 부(-) 입력에 연결하여 기생 용량을 최소화하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【청구항 12】

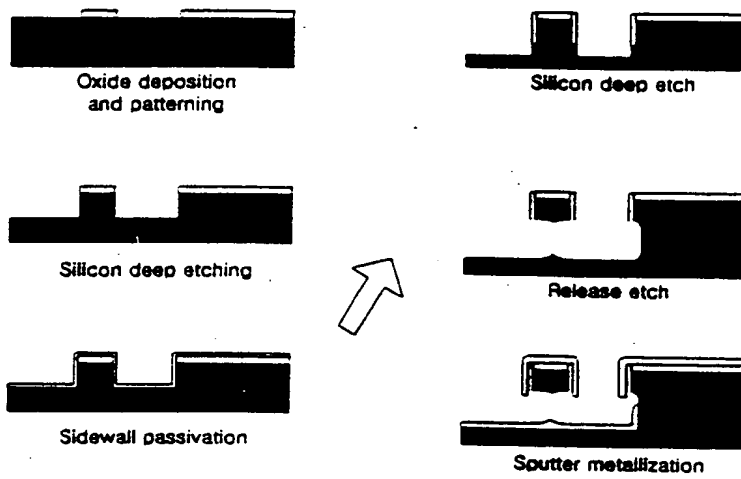
제11항에 있어서,

상기 튜닝 전압(V_T)이 전하 증폭기들의 정(+) 입력단들에 인가되는 경우, 전하 증

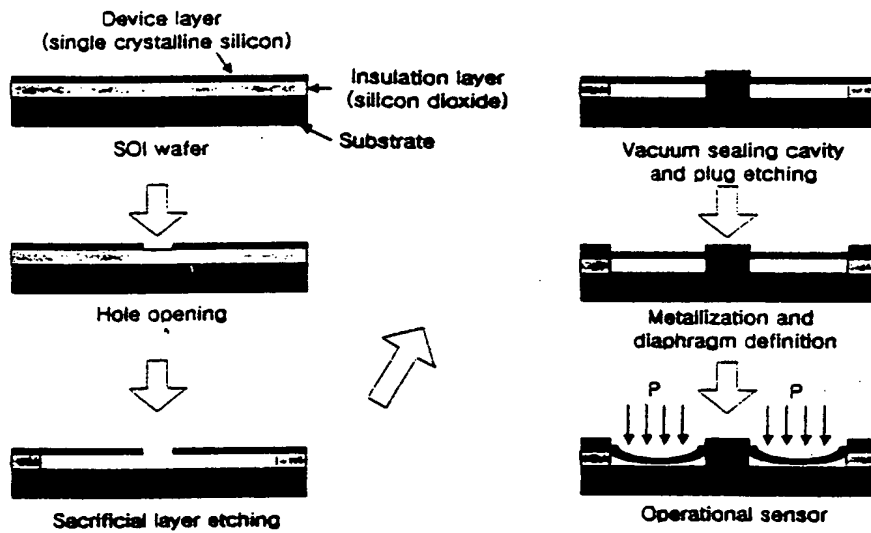
폭기의 출력에 나타나는 튜닝 전압(V_T)의 DC 전압을 제거하기 위하여 사용되는 고대역통과필터의 두 출력 신호의 차이로부터 얻어지는 변조된 출력 전압을 복조함에 의하여 최종적으로 각속도가 얻어지도록 하는 것임을 특징으로 하는 단결정 실리콘 마이크로머시닝 기법으로 제작된 미세 각속도계.

【도면】

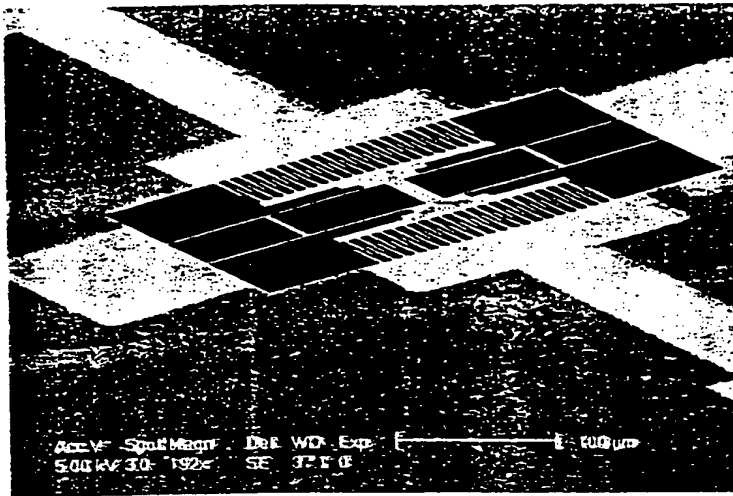
【도 1】



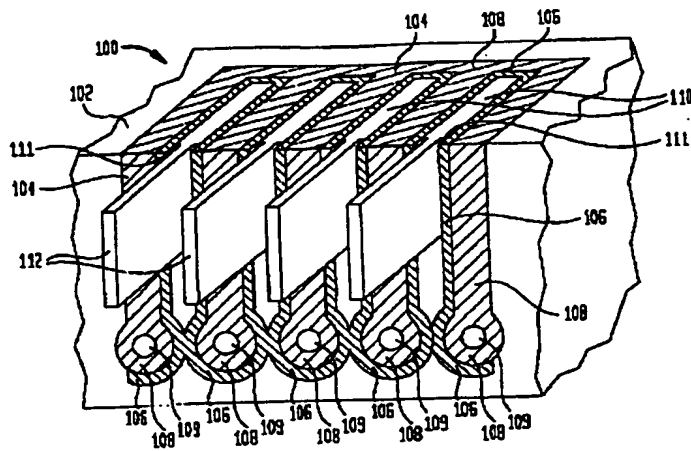
【도 2】



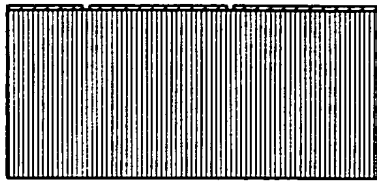
【도 3】



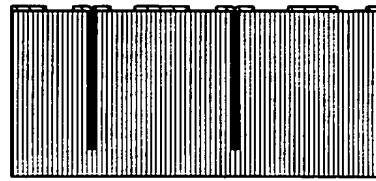
【도 4】



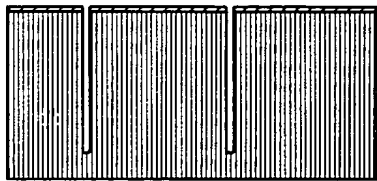
【도 5】



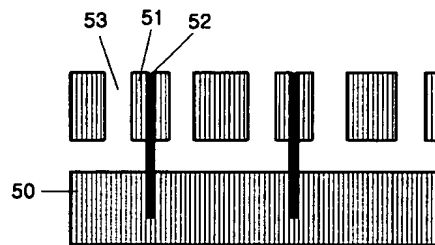
First etch mask deposition and patterning



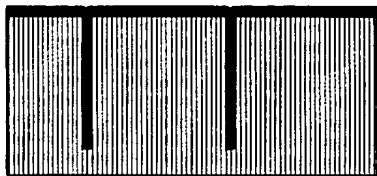
Second etch mask deposition and patterning



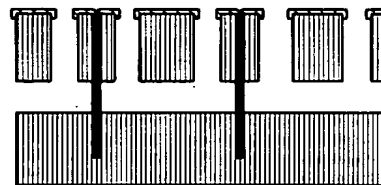
Deep silicon etching to form trenches



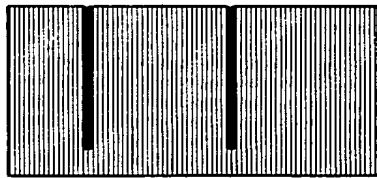
Structure fabrication



Trench filling by oxidation

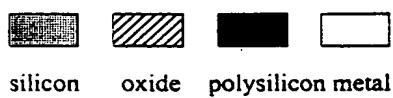
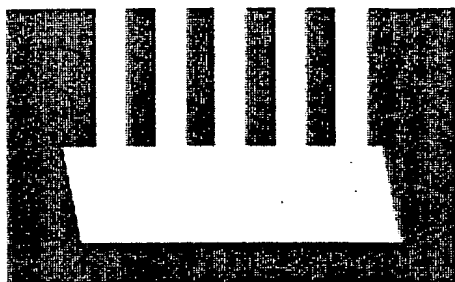


Metallization

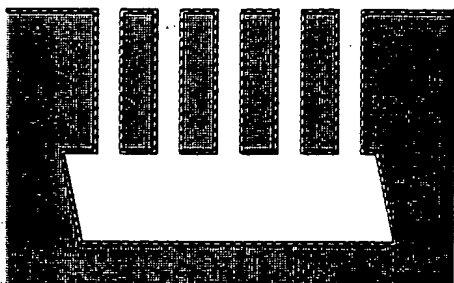


Top oxide removal

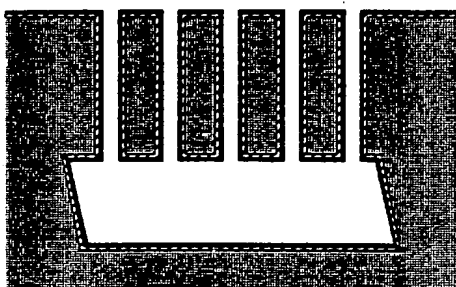
【도 6a】



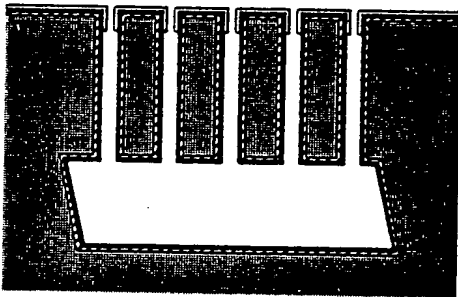
【도 6b】



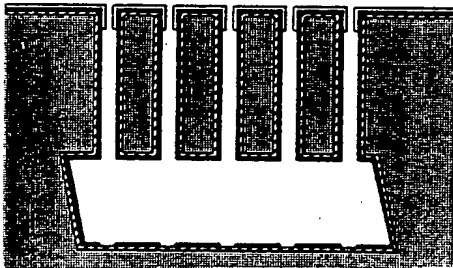
【도 6c】



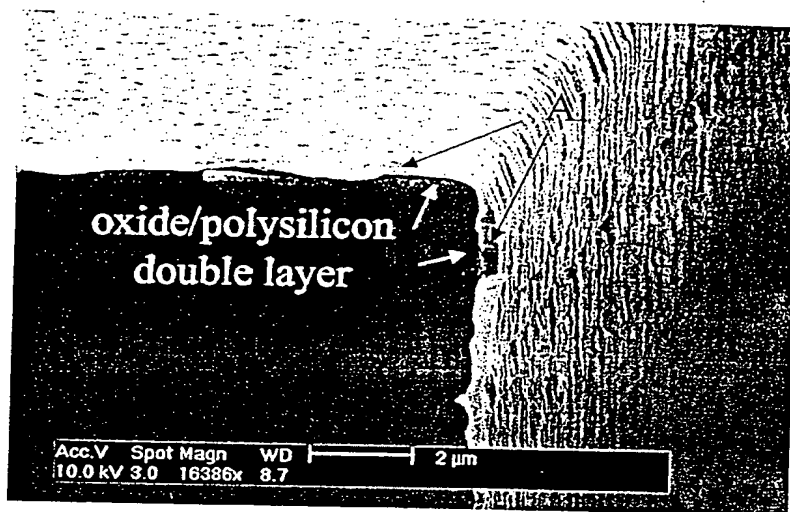
【도 6d】



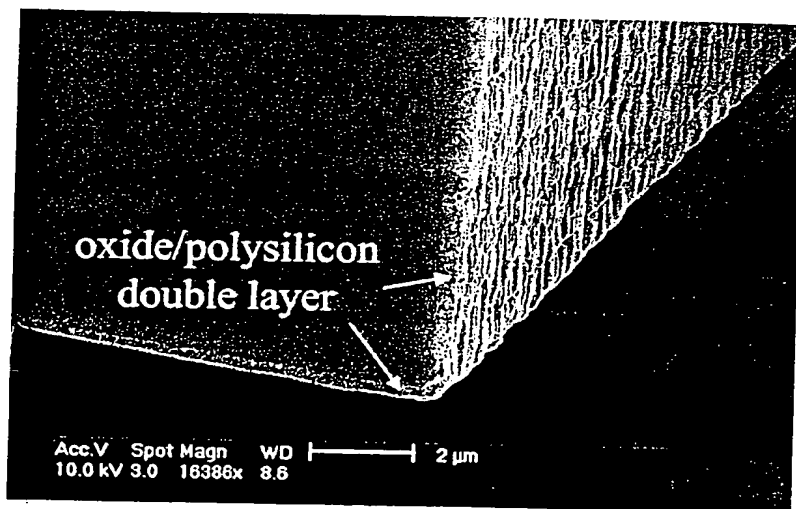
【도 6e】



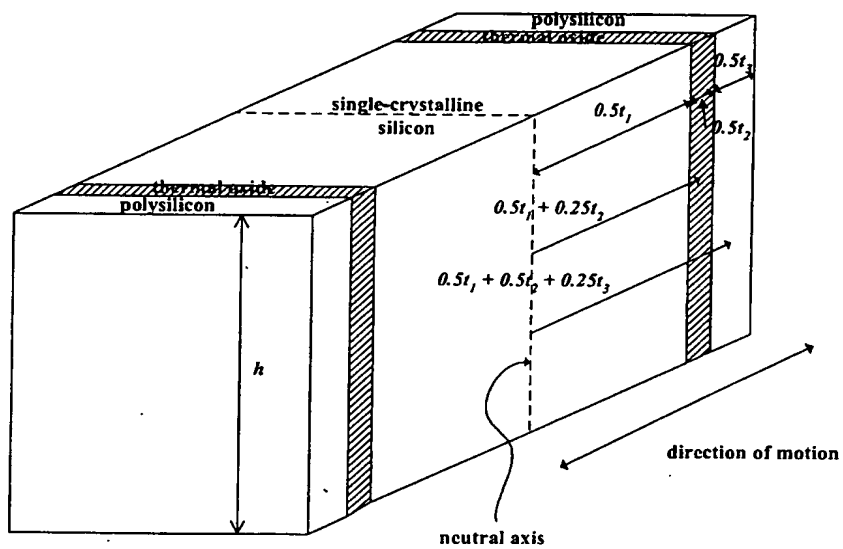
【図 7a】



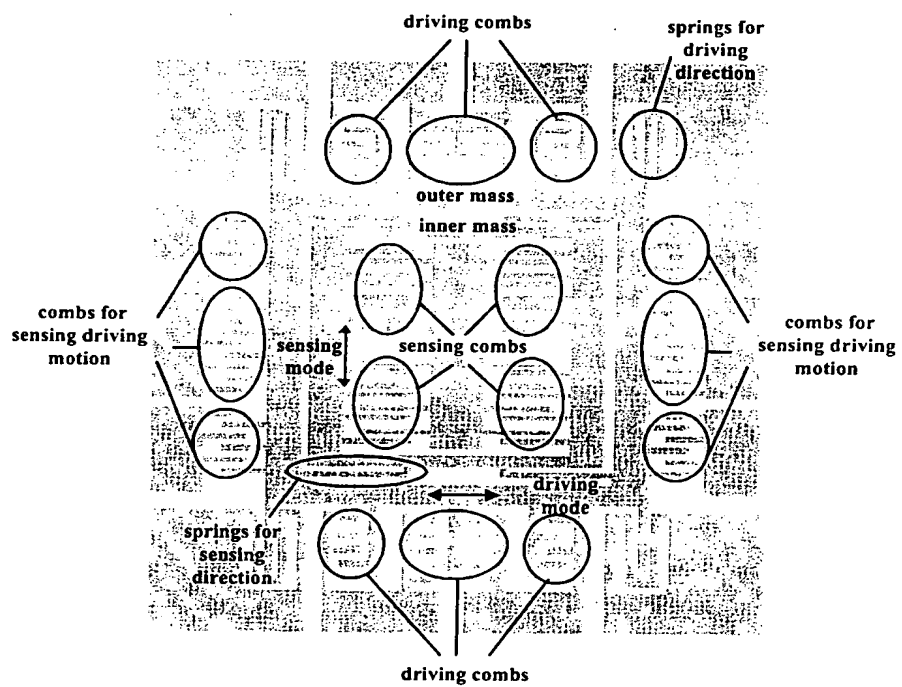
【図 7b】



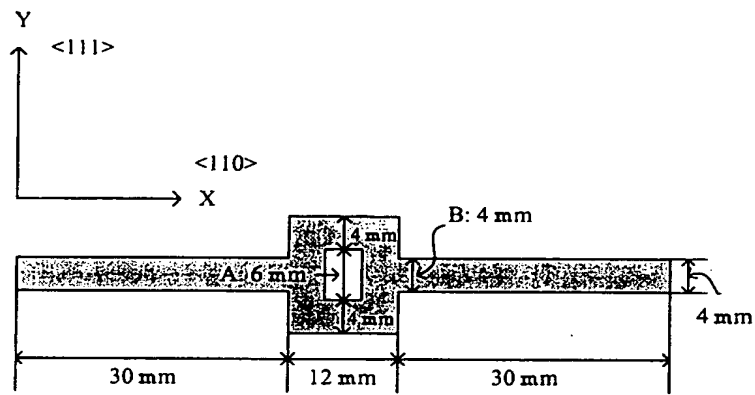
【도 8】



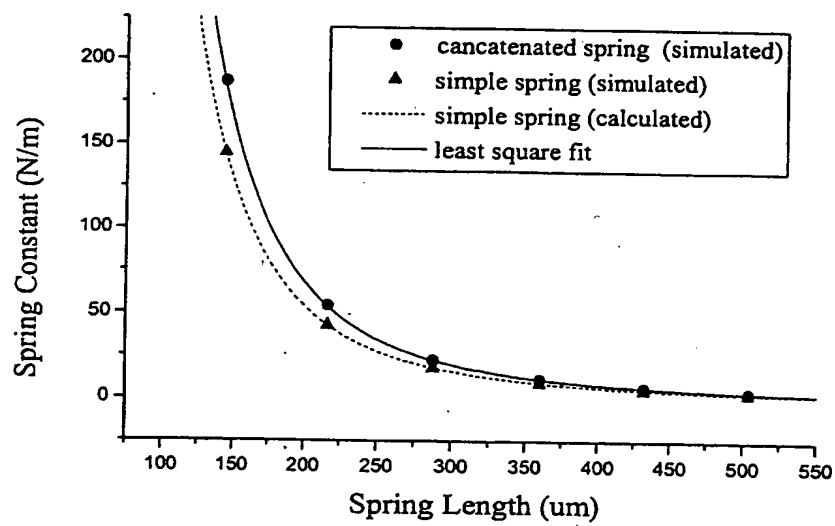
【도 9】



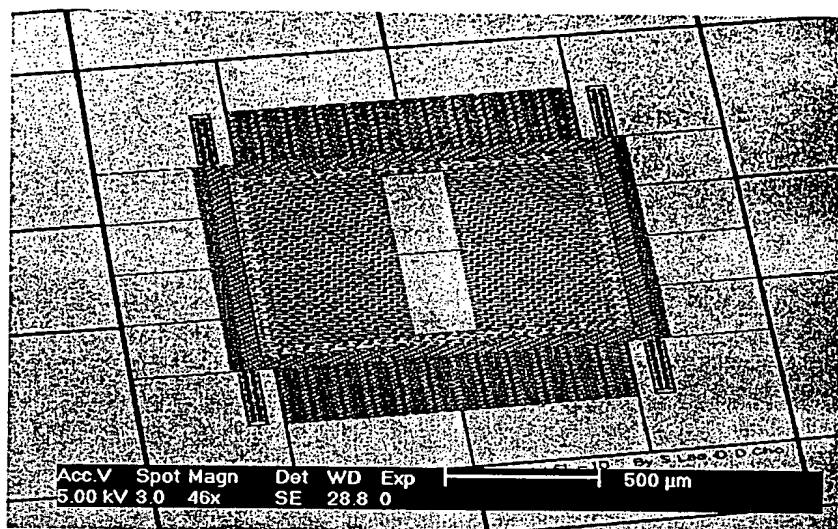
【도 10】



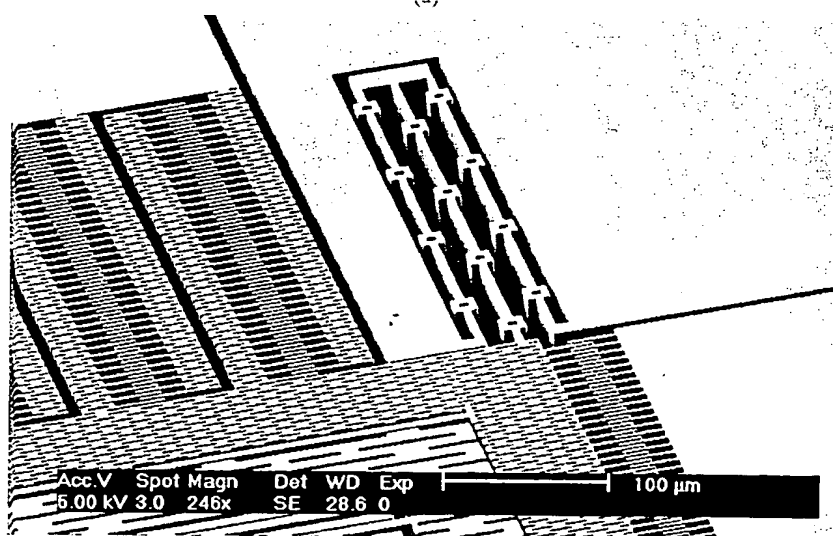
【도 11】



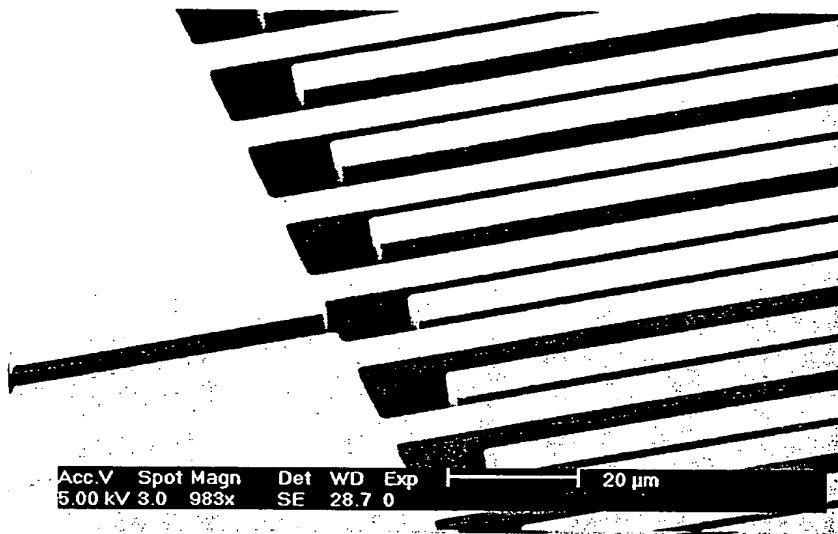
【도 12a】



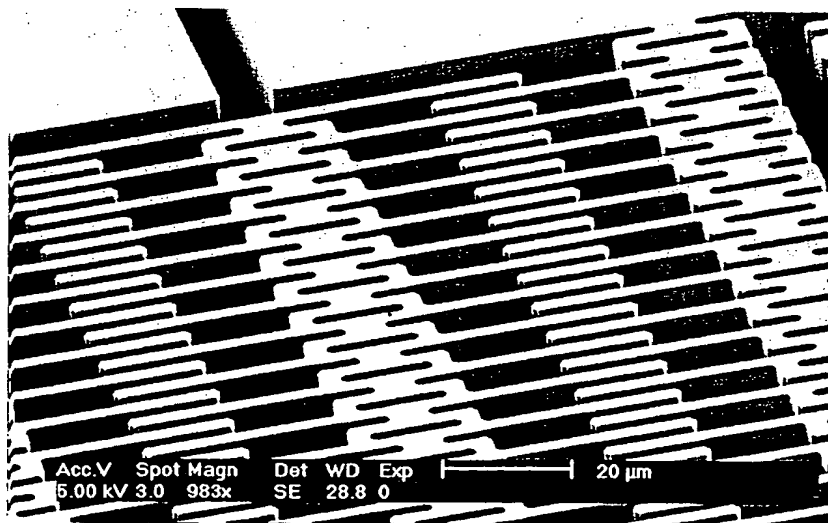
【도 12b】



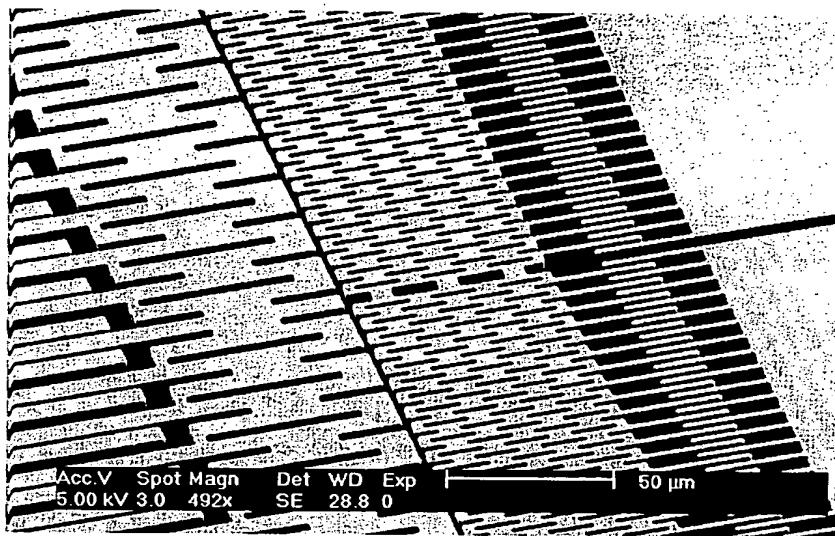
【図 12c】



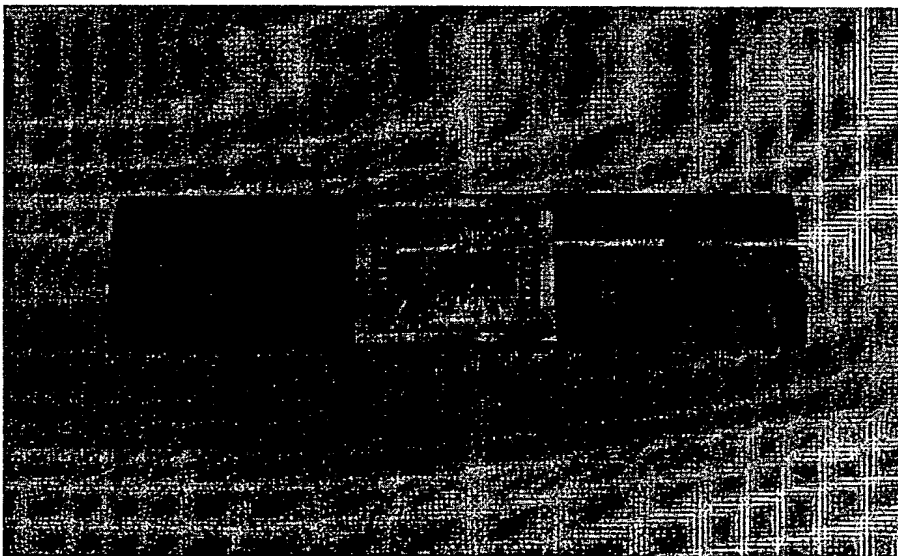
【図 12d】



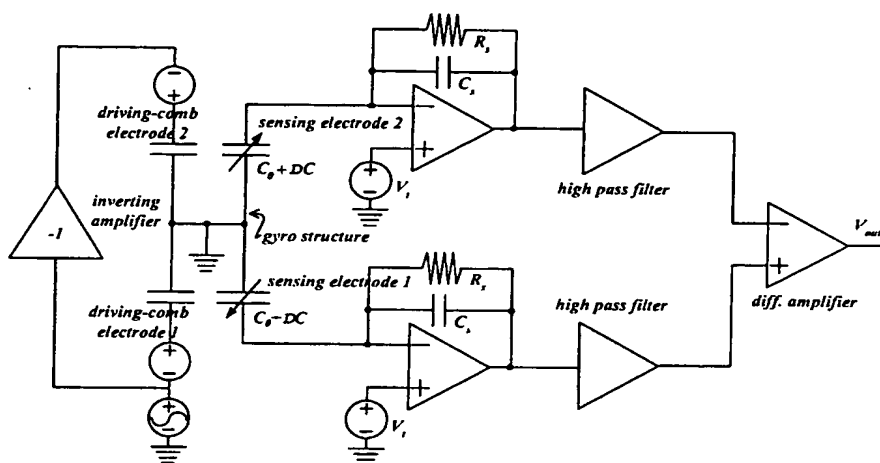
【도 12e】



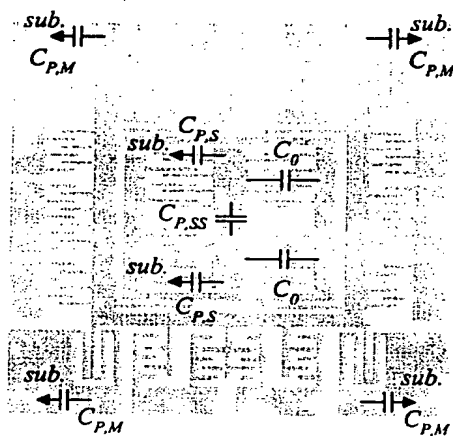
【도 13】



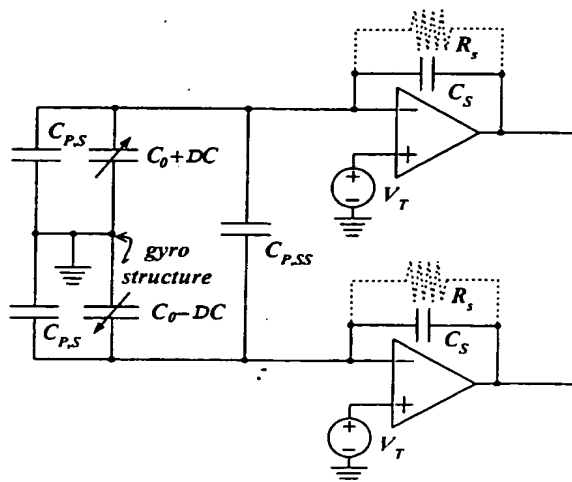
【도 14】



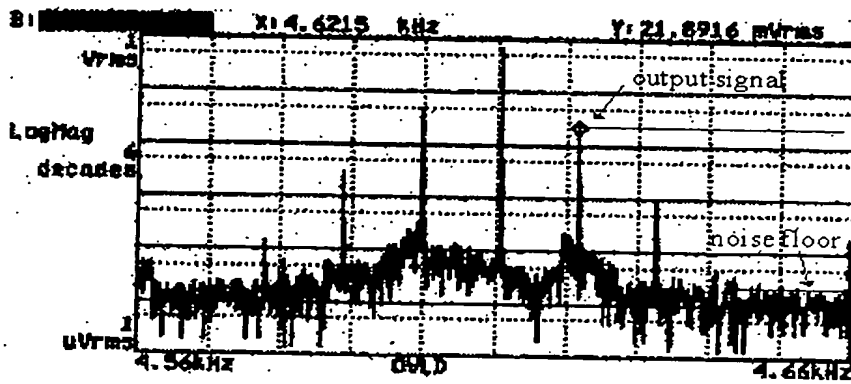
【도 15a】



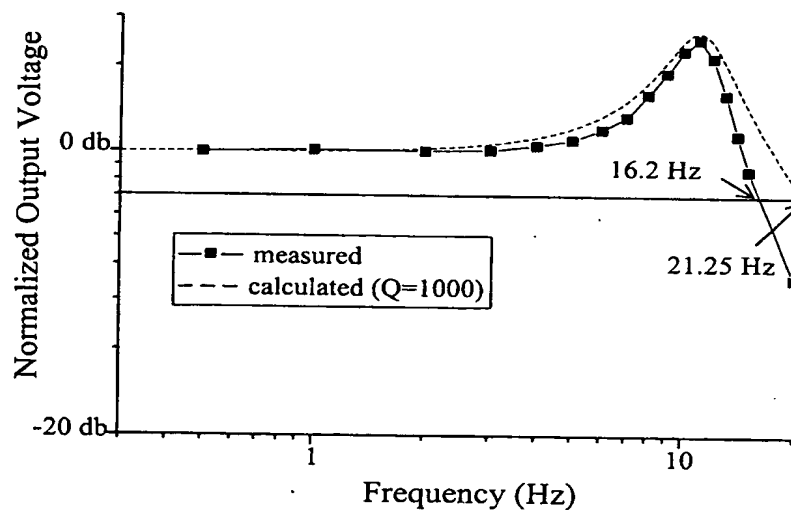
【도 15b】



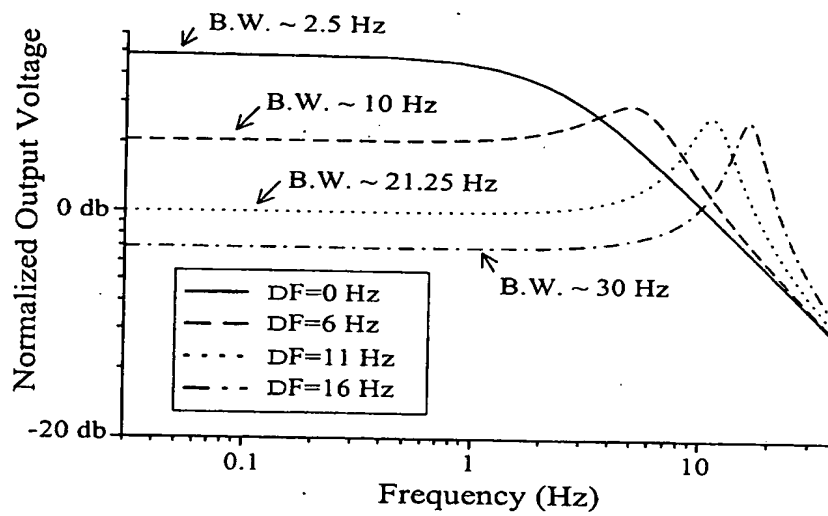
【도 16】



【도 17】



【도 18】



【도 19】

